

16. 6. 2004

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 7月 11日

出願番号  
Application Number: 特願 2003-195735

[ST. 10/C]: [JP 2003-195735]

REC'D 06 AUG 2004

WIPO PCT

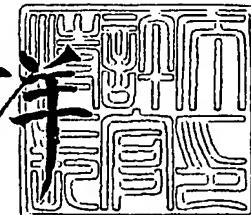
出願人  
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月 23日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小川洋



【書類名】 特許願  
【整理番号】 NTTTH155513  
【提出日】 平成15年 7月11日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 H04B 10/14  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
【氏名】 藤原 正満  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
【氏名】 可児 淳一  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
【氏名】 岩月 勝美  
【特許出願人】  
【識別番号】 000004226  
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社  
【代理人】  
【識別番号】 100072718  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 古谷 史旺  
【電話番号】 3343-2901  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 013354  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701422

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光増幅器および光変調器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 それぞれ個別の注入電流で反転分布を生成する複数  $n$  個の半導体光増幅器と、

入力端子と前記複数  $n$  個の半導体光増幅器と出力端子を順次接続する ( $n + 1$ ) 個の光接続手段と、

前記 ( $n + 1$ ) 個の光接続手段の奇数番または偶数番の位置に挿入される光アイソレータと

を備えたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光増幅器において、

前記半導体光増幅器は、前後の半導体光増幅器から出力される自然放出光 (ASE) が入力された場合でも利得の未飽和領域で動作する設定であることを特徴とする光増幅器。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の光増幅器を構成する 1 つの半導体光増幅器に、送信信号により強度変調された注入電流を印加して光強度変調手段とする構成であることを特徴とする光変調器。

【請求項 4】 請求項 1 または請求項 2 に記載の光増幅器を構成する前記 ( $n + 1$ ) 個の光接続手段のいずれか 1 箇所に光強度変調手段を挿入した構成であることを特徴とする光変調器。

【請求項 5】 請求項 1 または請求項 2 に記載の光増幅器を構成する前記 ( $n + 1$ ) 個の光接続手段のうち、入力端子および出力端子と接続される光接続手段以外のいずれか 1 箇所に光強度変調手段を挿入した構成であることを特徴とする光変調器。

【請求項 6】 請求項 4 または請求項 5 に記載の光変調器において、

前記光アイソレータが挿入されない光接続手段に前記光強度変調手段を挿入した構成であることを特徴とする光変調器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、半導体光増幅器を多段に接続して構成される光増幅器およびその光増幅器を組み合わせて構成される光変調器に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

光通信システムでは、減衰した信号光パワーを増幅する光増幅器が用いられる。光増幅器には、希土類添加光ファイバ（例えばエルビウム添加）を用いた光ファイバ増幅器と、半導体光増幅器（SOA）がある。エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA）は、石英ガラス光ファイバのコア部分に添加されたエルビウムイオン（Er<sup>3+</sup>）の固有な遷移での誘導放出を用いて、光ファイバ内を進行する光を増幅させる機能を有する。一方、SOAは、半導体レーザの共振器端面を低反射化することにより、活性層を進行する光を誘導放出により増幅させる機能を有する。

**【0003】**

いずれの光増幅器も利得帯域は30nm以上と広帯域であるが、励起準位にあるキャリアの寿命時間が大きく異なることにより利得広がりの均一性に違いがある。EDFAは、複数の離散的な励起準位からの遷移により利得広がりが形成されるため、キャリア寿命時間はミリ秒オーダと長く、利得広がりは不均一となる。一方、SOAは、キャリア寿命時間はナノ秒オーダと短く、利得広がりは均一とみなせる。ただし、複数の異なる波長の信号光を増幅する光増幅器において利得の飽和領域で動作させると、各波長が利得の奪い合いを行い、チャネル間のクロストークが生じて信号波形が劣化する。したがって、波長多重（WDM）通信システムにおける光増幅器としては、EDFAなどの光ファイバ増幅器が用いられるのが一般的である。

**【0004】**

ところで、半導体を注入電流により励起する構成のSOAに比べて、励起光源と希土類添加光ファイバと励起光を希土類添加光ファイバに結合する結合手段などを要する光ファイバ増幅器は部品点数も多く、経済的に不利である。したがって、1つの波長の信号光を増幅する場合には、光増幅器としてSOAを利用する

ことが望ましい。

#### 【0005】

図5は、SOAを用いた従来の光増幅器の構成例を示す。図において、光増幅器は、SOA11と、その両端に單一方向の光のみを透過する光アイソレータ12を配置した構成である。この光増幅器の両端には、入力側伝送路13および出力側伝送路14が結合される。この入出力伝送路内には、光フィルタ、光カプラなどの各種光デバイスや、光コネクタやスプライスなどが挿入されており、それらは入射光を反射する反射点にもなる。この反射点がSOA11の両端にあると光共振器が構成され、場合によってはSOAの動作が不安定になる。光アイソレータ12は、これを防ぐために配置されている。

#### 【0006】

しかし、SOAの両端に光アイソレータを挿入したとしても、素子そのものの両端からの反射の問題が残る。これに対して無反射コートを施し、端面反射率を低下させる方法がとられるが、この端面反射率の値はSOAに許容する利得の大きさを制限する。そのため、SOAにより高利得増幅を実現する場合には、図6に示すようにSOA11を多段に接続する構成が必要になる。この構成では、光反射の影響を最小限に抑えるために、多段に接続したすべてのSOA11の入出力端に光アイソレータ12を挿入することが考えられる。

#### 【0007】

なお、SOAの多段構成として、SOAと電界吸収型光強度変調器（EA変調器）のカスケード構成を2段に接続したものが提案されているが（非特許文献1）、光アイソレータの挿入についての記述はない。

#### 【0008】

##### 【非特許文献1】

Ohman, F. et al., Lasers and Electro-Optics Society, 2002. LEOS 2002. The 15th Annual Meeting of the IEEE, Vol.2, pp.895-896

#### 【0009】

##### 【発明が解決しようとする課題】

図6に示すように、多段に接続したすべてのSOA11の入出力端に光アイソ

レータ12を挿入すると、光アイソレータはSOAの数+1個必要になり、光増幅器のコストが大きくなる。そこで、光アイソレータの数を減らす工夫が必要になる。

#### 【0010】

ところで、SOAは図7に示すように、素子そのものの両端に反射端をもつため、SOA自体が反射点となる。しかも、この反射は双方向で起こり、1つのSOAで4つの反射光Ref(a), Ref(b), ref(a), ref(b) が発生する。Ref(a), Ref(b) は信号光の進行方向と同一方向の反射光、ref(a), ref(b) は信号光の進行方向と逆方向の反射光である。このうち、SOAで利得を受ける反射光Ref(b), ref(b) が問題となる。いま、SOAの利得を $g$ 、端面反射率を $r$ とすると、光パワー「1」の光がSOAの一方の端面から入射し、他方の端面で反射して一方の端面から出力される反射光ref(b), Ref(b) のパワーは $r g^2$  となり、端面反射率が $g^2$  倍されたものとなる。

#### 【0011】

以下、図9を参照し、SOAを多段（3段）接続したときの反射光について検討する。なお、ここでの反射光は図7におけるSOAで利得を受ける反射光Ref(b), ref(b) を対象とし、SOAの入力端での反射光Ref(a), ref(a) は無視する。

#### 【0012】

図9において、信号光の進行方向と同一方向の反射光を入力側から順に、Ref0, Ref1, Ref2, Ref3とし、逆方向の反射光を入力側から順にref1, ref2, ref3, ref4とする。Ref0は入力側伝送路13の反射光であり、ref4は出力側伝送路14の反射光であり、Ref1とref1, Ref2とref2およびRef3とref3はそれぞれSOA11-1, 11-2, 11-3の双方向の反射光を示す。一般に反射光が問題となるのは、信号光の進行方向と逆方向の反射（1回反射光ref(i)）に引き続いて、同一方向の反射（2回反射光Ref(i-1)）が起こり、その2回反射光が信号光と干渉して信号光パワーが不安定になる場合である。

#### 【0013】

図9の場合には、SOA11-1の1回反射光ref1に対して入力側伝送路13で反射する2回反射光Ref0、SOA11-2の1回反射光ref2に対して入力側伝

送路13およびSOA11-1でそれぞれ反射する2回反射光Ref0, Ref1、SOA11-3の1回反射光ref3に対して入力側伝送路13およびSOA11-1, 11-2でそれぞれ反射する2回反射光Ref0, Ref1, Ref2、出力側伝送路14の1回反射光ref3に対して入力側伝送路13およびSOA11-1, 11-2, 11-3でそれぞれ反射する2回反射光Ref0, Ref1, Ref2, Ref3が対象となる。

#### 【0014】

各1回反射光ref(j)において、信号光に対する各2回反射光Ref(j-1)の割合を図8に示す。ここでは、1回反射光ref(j)および2回反射光Ref(j-1)の反射率（端面反射率rと利得を掛けたもの）をr(j)およびR(j-1)とする（jは1, 2, 3, 4）。すなわち、 $r_1 = R_1 = g_1^2 r$ 、 $r_2 = R_2 = g_2^2 r$ 、 $r_3 = R_3 = g_3^2 r$ であり、r4およびR0はSOAの反射光における反射率に匹敵する大きさを有するものとする。

#### 【0015】

1回反射光ref(j)における2回反射光Ref(j-1)の信号光に対する割合は、反射率の二乗のオーダ（ $r_1 R_0$ 、 $r_2 R_1$ 、 $r_3 R_2$ 、 $r_4 R_3$ ）である。一方、1回反射光ref(j)における2回反射光Ref(j-2), Ref(j-3), Ref(j-4)の信号光に対する割合は、反射率の二乗のオーダに対して通過するSOAの利得の二乗倍だけ大きくなる（ $r_2 R_0 g_1^2$ 、 $r_3 R_0 g_1^2 g_2^2$ 、 $r_3 R_1 g_2^2$ 、 $r_4 R_0 g_1^2 g_2^2 g_3^2$ 、 $r_4 R_1 g_2^2 g_3^2$ 、 $r_4 R_2 g_3^2$ ）。

#### 【0016】

一般に、n個のSOAを多段接続した場合には、1回反射光または2回反射光が通過するSOAの数が多くなり、その通過数分だけ2回反射光の割合も大きくなり、信号光に与える影響も大きくなる。ただし、図8および図9に示すように、SOAを通過しない2回反射光は、SOAを通過する2回反射光に比べて信号光に対する割合は小さい。このSOAを通過しない2回反射光を許容すれば、図6に示すように、多段に接続したすべてのSOA11の入出力端に光アイソレータ12を挿入して2回反射光の発生を完全に阻止する必要はなく、その結果として光アイソレータの削減が可能となる。

#### 【0017】

本発明は、1回反射光に引き続く2回反射光を許容し、1回反射光に引き続く2回反射光がSOAを通過することを阻止するために、必要最小限の光アイソレータで対応することができる光増幅器およびその光増幅器と組み合わせて構成される光変調器を提供することを目的とする。

#### 【0018】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の光増幅器は、それぞれ個別の注入電流で反転分布を生成する複数n個の半導体光増幅器と、入力端子と複数n個の半導体光増幅器と出力端子を順次接続する(n+1)個の光接続手段と、(n+1)個の光接続手段の奇数番または偶数番の位置に挿入される光アイソレータとを備える。

#### 【0019】

また、半導体光増幅器は、前後の半導体光増幅器から出力される自然放出光(ASE)が入力された場合でも利得の未飽和領域で動作する設定とする。

#### 【0020】

本発明の光変調器は、本発明の光増幅器を構成する1つの半導体光増幅器に、送信信号により強度変調された注入電流を印加して光強度変調手段とする構成である。また、本発明の光増幅器を構成する(n+1)個の光接続手段のいずれか1箇所に光強度変調手段を挿入した構成としてもよい。また、本発明の光増幅器を構成する(n+1)個の光接続手段のうち、入力端子および出力端子と接続される光接続手段以外のいずれか1箇所に光強度変調手段を挿入した構成としてもよい。また、光アイソレータが挿入されない光接続手段に光強度変調手段を挿入した構成としてもよい。

#### 【0021】

##### 【発明の実施の形態】

###### (本発明の光増幅器の実施形態)

図1は、本発明の光増幅器の実施形態を示す。本実施形態では、3個のSOAを用いた構成例を示すが、SOAの数は2個以上であれば同様である。

#### 【0022】

図において、SOA11-1～11-3は、入力端子15および出力端子16

との間に、光接続手段17-1～17-4を介して順次接続される。図1(a)の構成は、奇数番の光接続手段17-1, 17-3に光アイソレータ12-1, 12-2が挿入される。図1(b)の構成は、偶数番の光接続手段17-2, 17-4に光アイソレータ12-3, 12-4が挿入される。

#### 【0023】

これにより、信号光に対して2回反射光の割合が小さい1回反射光に引き続く2回反射光のみを許容し、1回反射光に引き続く2回反射光がSOAを通過することを阻止することができる。すなわち、図9の例では、SOA11-2の1回反射光ref2に対して入力側伝送路13で反射する2回反射光Ref0、SOA11-3の1回反射光ref3に対して入力側伝送路13およびSOA11-1でそれぞれ反射する2回反射光Ref0, Ref1、出力側伝送路14の1回反射光ref3に対して入力側伝送路13およびSOA11-1, 11-2でそれぞれ反射する2回反射光Ref0, Ref1, Ref2の発生を阻止することができる。

#### 【0024】

図2は、本発明の光増幅器におけるASE光と利得飽和特性の関係を示す。図において、光増幅器を構成するSOAは、信号光の進行方向と同一方向および逆方向に自然放出光(ASE)を放出する。ここで、信号光の進行方向と同一方向を前方ASE、逆方向を後方ASEという。4個のSOA11-1～11-4に対してSOA11-2, 11-3間に光アイソレータ12が挿入された場合、SOA11-3にはSOA11-2から放出される前方ASE(a2)と、SOA11-4から放出される後方ASE(b4)が入射されるが、SOA11-2にはSOA11-3から放出される後方ASE(b3)が光アイソレータ12で遮断されるために、SOA11-1から放出される前方ASE(a1)のみが入射される。

#### 【0025】

一方、SOAは図2に示すように入力パワー(または出力パワー)に応じた利得飽和特性を有する。すなわち、所定の入力パワー(または出力パワー)までは利得が一定に保たれる「利得未飽和領域」と、それを越えると利得が減少する「利得飽和領域」をもつ。図2に示すようにSOAを多段に構成し、かつ交互に光アイソレータを挿入した場合には、光アイソレータの後段のSOAに信号光パワ

ーとASEパワーの和が入力される。このようなASEパワーを考慮し、利得未飽和領域となる入力パワー（または出力パワー）の大きいSOAを用いて信号光が所定の利得を得られるようにする。

### 【0026】

#### （光変調器の第1の実施形態）

図3は、本発明の光変調器の第1の実施形態を示す。ここでは、図1の光増幅器を構成する3個のSOAの1つを光強度変調器とする。SOAは、注入電流を送信信号により強度変調することにより光強度変調器として使用することができる。これにより、SOAを多段構成した光増幅器を含む光変調器を構成することができ、遠方から伝送された連続光のパワー損失の補償と変調動作を同時に実現することができる。

### 【0027】

#### （光変調器の第2の実施形態）

図4は、本発明の光変調器の第2の実施形態を示す。ここでは、図1の光増幅器を構成する3個のSOAのいずれかの間に光強度変調器18を挿入する。図4(a)は光アイソレータ12が挿入されていない区間に光強度変調器18を挿入した構成である。ここではSOA11-1, 11-2間の光接続手段17-2に挿入した例を示すが、SOA11-4と出力端子16との間の光接続手段17-4に挿入してもよい。ただし、この場合には最終段のSOAで増幅された光パワーに対応できる光強度変調器18を用いる必要がある。

### 【0028】

図4(a)の構成では、SOA11-1から出力された連続光と、SOA11-2とSOA11-1における連続光の2回反射光が干渉するまでに、光強度変調器18で2度の強度変調を受ける。したがって、信号光に対する2回反射光の割合は光強度変調器を挿入しない場合に対して相対的に小さくなる。

### 【0029】

図4(b)は光アイソレータ12が挿入されている区間に光強度変調器18を挿入した構成である。ここではSOA11-2, 11-3間の光接続手段17-2に挿入した例を示すが、入力端子15とSOA11-1との間の光接続手段17

-1に挿入してもよい。ただし、この場合には光強度変調器18の損失によりSOAへの入力パワーが低下し、SNRが劣化することを考慮する必要がある。なお、図4(b)において、光アイソレータ12と光強度変調器18の順番は任意である。

#### 【0030】

光強度変調器18としては、電界吸収型光強度変調器（EA変調器）などを用いることができる。第1の実施形態ではSOAを光強度変調器としているためにGbps以上の変調動作は困難であったが、EA変調器の場合には40Gbps程度までの変調動作に対応することができる。

#### 【0031】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明の光増幅器およびそれを用いた光変調器は、多段に接続されるSOAに対して1つおきに光アイソレータを挿入すればよいので、安定した増幅機能とコスト低減を同時に達成することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

###### 【図1】

本発明の光増幅器の実施形態を示す図。

###### 【図2】

本発明の光増幅器におけるASE光と利得飽和特性の関係を示す図。

###### 【図3】

本発明の光変調器の第1の実施形態を示す図。

###### 【図4】

本発明の光変調器の第2の実施形態を示す図。

###### 【図5】

SOAを用いた従来の光増幅器の構成例を示す図。

###### 【図6】

SOAを多段接続した光増幅器の構成例を示す図。

###### 【図7】

SOAにおける反射光を説明する図。

**【図8】**

信号光に対する2回反射光の割合を示す図。

**【図9】**

1回反射光に対する2回反射光の関係を示す図。

**【符号の説明】**

- 1 1 半導体光増幅器 (S O A)
- 1 2 光アイソレータ
- 1 3 入力側伝送路
- 1 4 出力側伝送路
- 1 5 入力端子
- 1 6 出力端子
- 1 7 光接続手段
- 1 8 光強度変調器 (M O D)

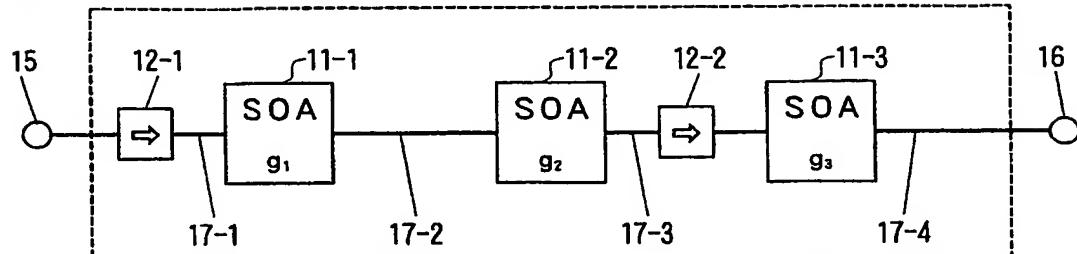
【書類名】

図面

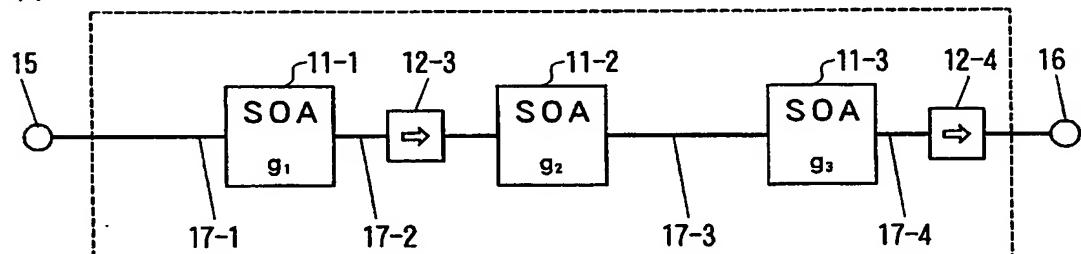
【図1】

## 本発明の光増幅器の実施形態

(a)

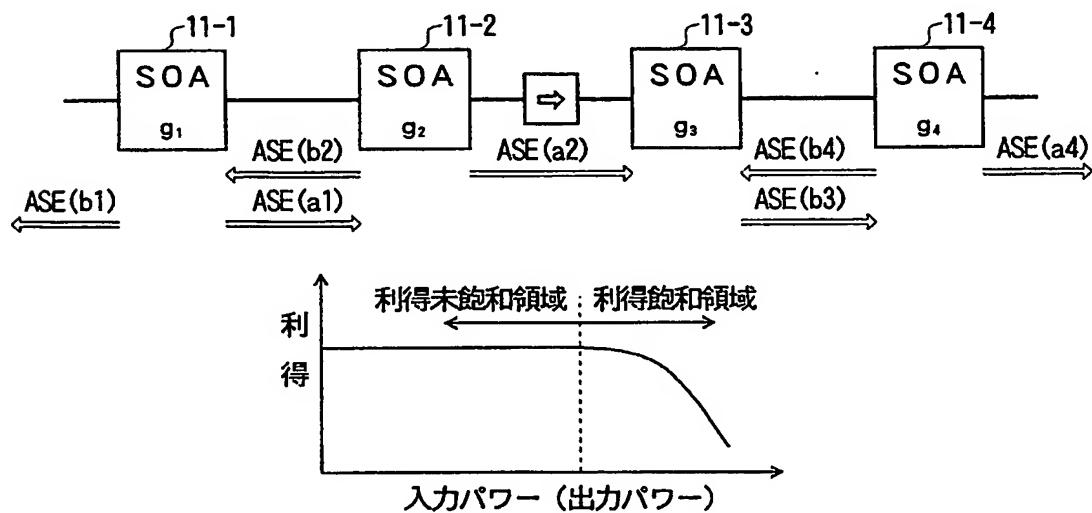


(b)



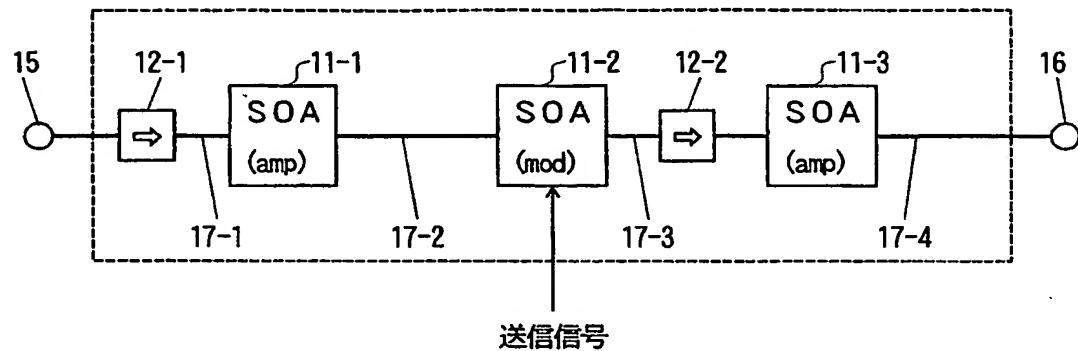
【図2】

## 本発明の光増幅器におけるASE光と利得飽和特性の関係



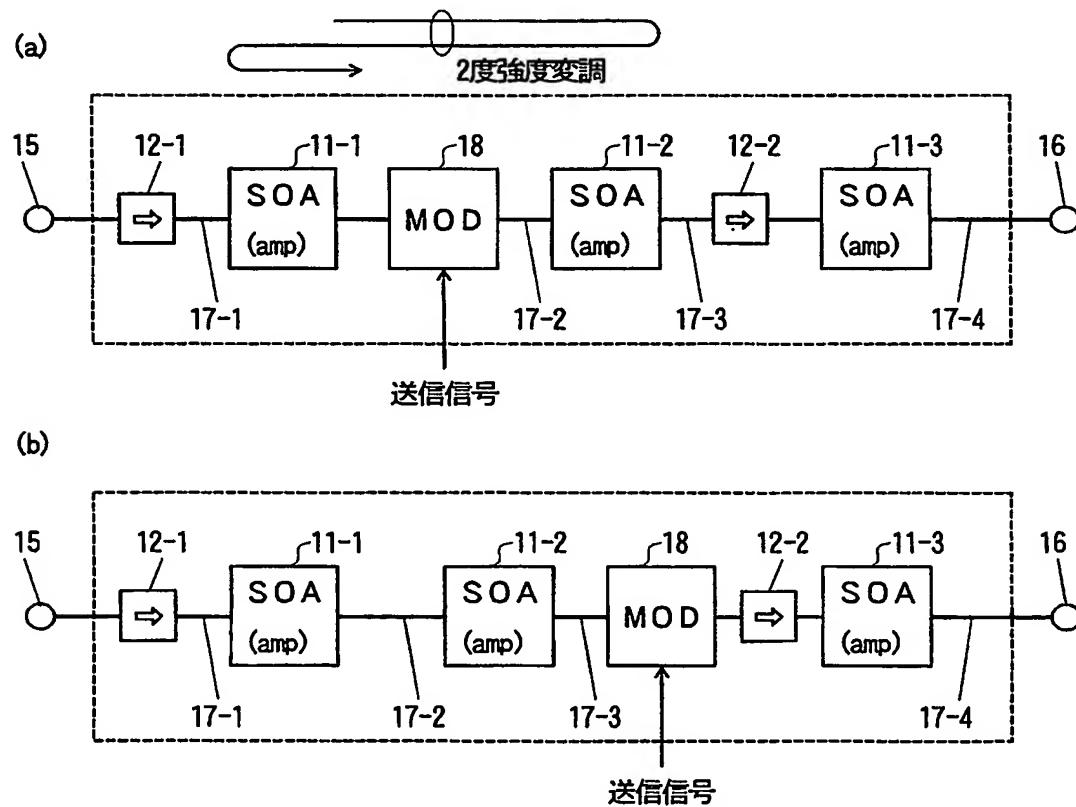
【図3】

## 本発明の光変調器の第1の実施形態



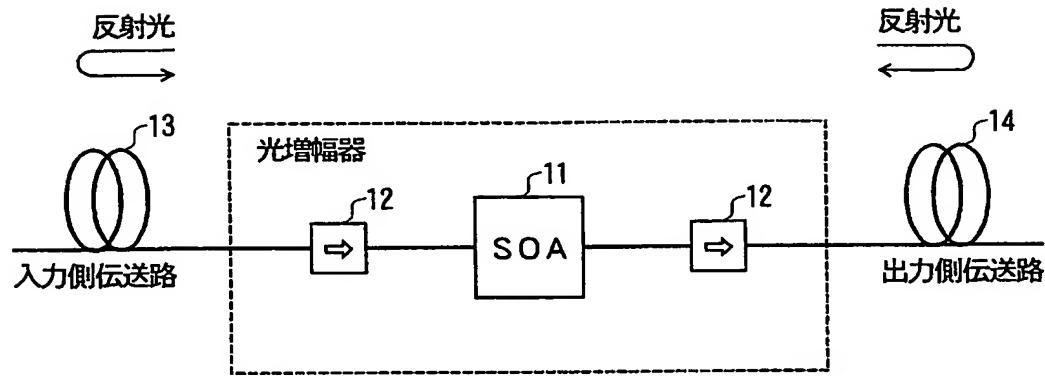
【図4】

## 本発明の光変調器の第2の実施形態



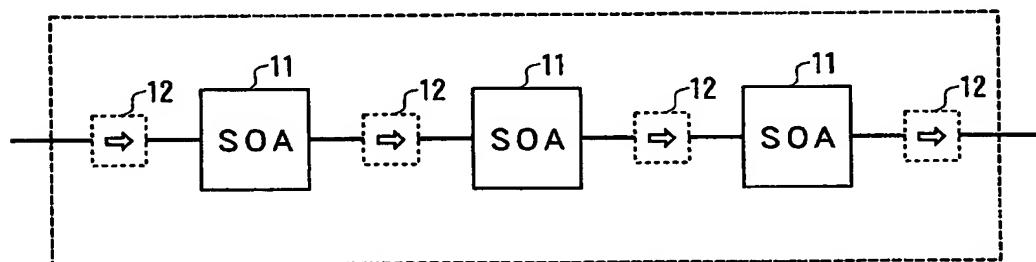
【図 5】

## S O A を用いた従来の光増幅器の構成例



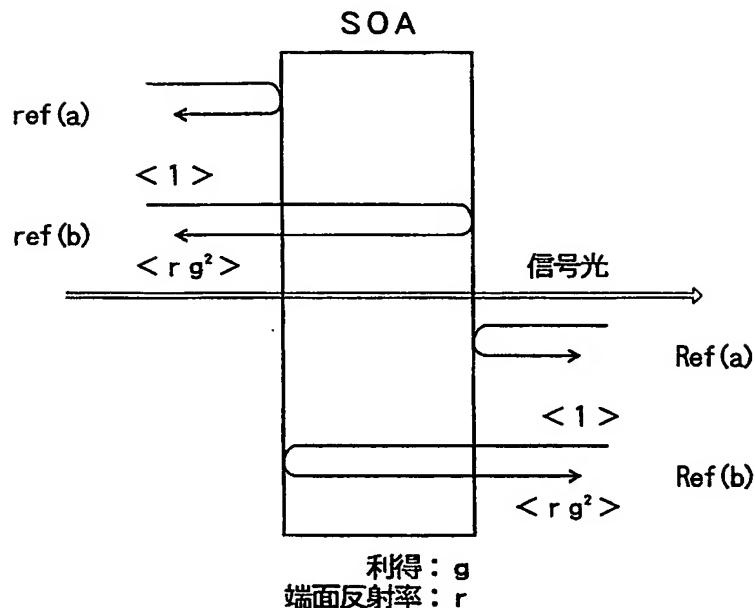
【図 6】

## S O A を多段接続した光増幅器の構成例



【図7】

## SOAにおける反射光



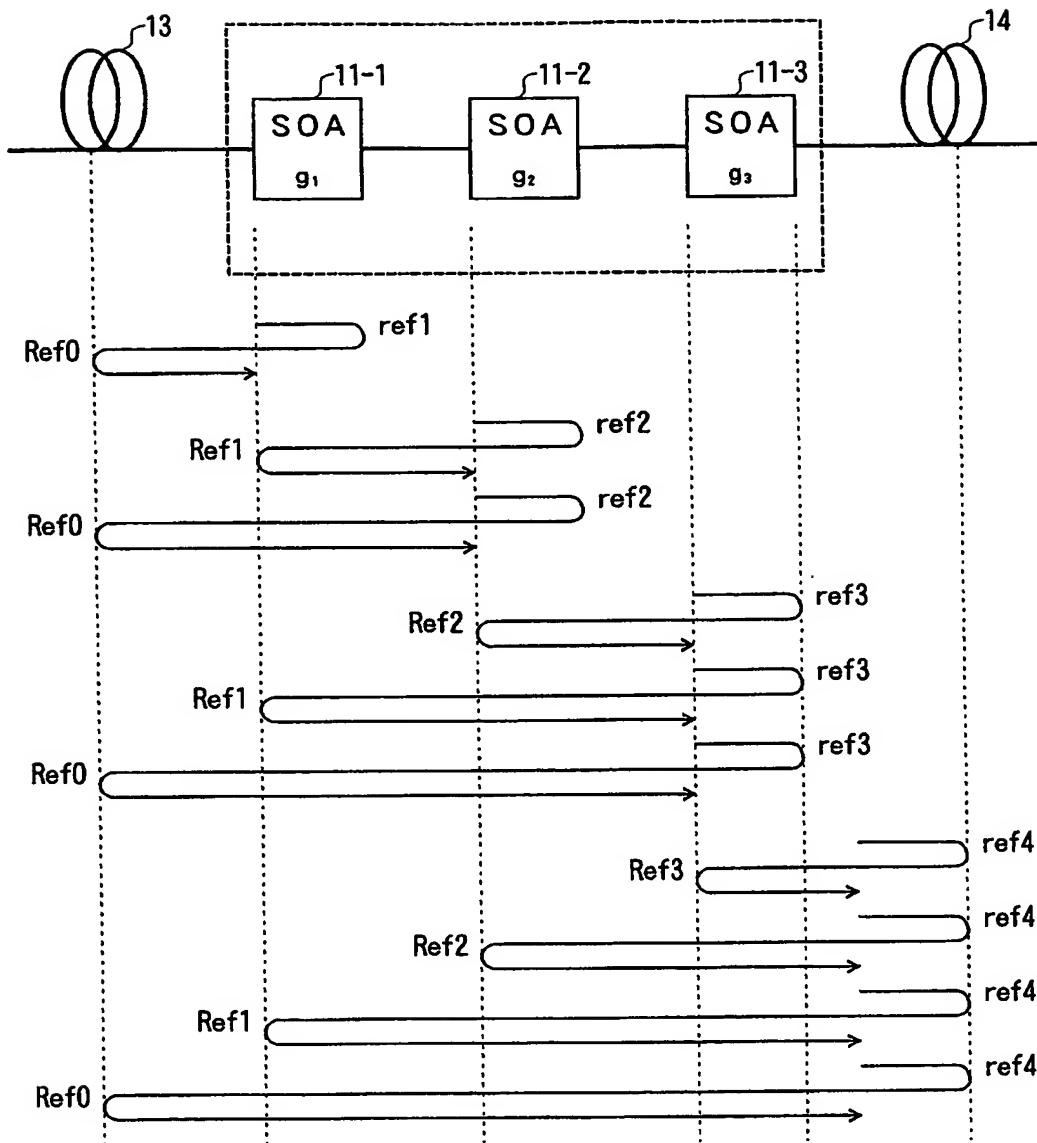
【図8】

## 信号光に対する2回反射光の割合

		1回反射光			
		ref1	ref2	ref3	ref4
2回 反射光	Ref0	$r1R0$	$r2R0 g_1^2$	$r3R0 g_1^2 g_2^2$	$r4R0 g_1^2 g_2^2 g_3^2$
	Ref1	—	$r2R1$	$r3R1 g_2^2$	$r4R1 g_2^2 g_3^2$
	Ref2	—	—	$r3R2$	$r4R2 g_3^2$
	Ref3	—	—	—	$r4R3$

【図9】

## 1回反射光に対する2回反射光の関係



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体光増幅器を多段に接続する構成において、1回反射光に引き続  
く2回反射光を許容し、1回反射光に引き続く2回反射光が半導体光増幅器を通  
過することを阻止するために、必要最小限の光アイソレータで対応する。

【解決手段】 それぞれ個別の注入電流で反転分布を生成する複数n個の半導体  
光増幅器と、入力端子と複数n個の半導体光増幅器と出力端子を順次接続する（  
 $n + 1$ ）個の光接続手段と、（ $n + 1$ ）個の光接続手段の奇数番または偶数番の  
位置に挿入される光アイソレータとを備える。

【選択図】 図1

特願 2003-195735

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号  
氏名 日本電信電話株式会社